

Rijkswaterstaat  
Bibliotheek  
Directie Noord-Nederland

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM.

VERSLAG MODELONDERZOEK BUITENHAVEN HARLINGEN.

Onderzoek nr. 167.

K. 9153.

Bibliotheek Z. Z. W.	
F. <b>B</b>	No. <b>0897</b>
Kast	1
Plank	1 port

## I N H O U D.

	<u>blz.</u>
<u>HOOFDSTUK I. Overzicht, gegevens en uitkomsten.</u>	
1. Opdracht en omschrijving.....	1
2. Gegevens.....	1
3. Eischen.....	4
4. Verloop van de werkzaamheden.....	5
5. Overzicht van de uitkomsten.....	6
 <u>HOOFDSTUK II. Het model.</u>	
6. Grenzen en schalen.....	9
7. Beschrijving.....	9
8. De meetwijzen.....	10
 <u>HOOFDSTUK III. De modelproeven.</u>	
9. De grondslagen voor de proeven.....	13
10. De bij het meten en het uitwerken gevolgde werkwijze.....	16
11. Overzicht van de onderzochte situaties.....	17
12. De uitgevoerde metingen en hun voornaamste uitkomsten.....	18
 <u>HOOFDSTUK IV. Discussie van de uitkomsten.</u>	
13. De golfmetingen in de bestaande situatie (S 0)....	19
14. De golfmetingen in de situatie vóór 1911 (S 1)....	19
15. Overeenkomst tusschen model en werkelijkheid.....	20
16. De golfmetingen in S 1.....	21
17. De golfmetingen in S 2 tot en met S 7.....	21
18. De golfmetingen in S 8 tot en met S 17.....	23
19. De golfmetingen in plan A (S 18 tot en met S 23)..	25
20. De golfmetingen in plan B (S 24 tot en met S 32)..	27
21. De golfmetingen in plan C (S 33, S 34 en S 35)....	29
22. De golfmetingen in plan D (S 36, S 37 en S 38)....	31
23. Uit de golfmetingen te trekken conclusies.....	31
24. De in de haven zelf opgewekte golven.....	33
25. De stroommetingen.....	35
26. De haling.....	38

-----

FIGUREN.

1. De Waddenzee in de omgeving van Harlingen.
2. Overzicht van de haven van Harlingen.
3. Frequenties van de waterstanden te Harlingen.
4. Frequenties van de windsnelheden te Harlingen.
5. Het model.
6. Het model in aanbouw.
- 7a. Het model in bedrijfsvaardigen toestand - S 1.
- b. " " " " " " - S 1.
- c. " " " " " " - S 32.
8. Het toestel voor het meten der golfhoogten.
9. Het toestel voor het meten van de haling.
10. Vergelijking van gemeten en berekende deining.
11. Overzicht van de onderzochte situaties.
12. S 0. Golfmeting.
13. S 0. "
14. S 0. "
15. S-1. "
16. S-1. "
17. S 1. "
18. S 1. "
19. S 2. "
20. S 3. "
21. S 4. "
22. S 5. "
23. S 6. "
24. S 7. "
25. S 8. "
26. S 9. "
27. S10. "
28. S11. "
29. S12. "
30. S13. "
31. S14. "
32. S15. "
33. S16. "
34. S17. "
35. S18. "
36. S20. "
37. S21. "
38. S22. "
39. S23. "
40. S24. "
41. S25. "
42. Hoogte der golven in de Nieuwe Willems haven bij verschillende lengten van den Zuiderhavendam.
43. S32. Golfmeting.
44. S32. "
45. S32. "
46. S32. "
47. S34. "
48. S35. "

49. S36. Golfmeting.  
50. S38. "  
51. S 0. Stroommetingen, zuid- en noordgaande stroom.  
52. S 3. " " " "  
53. S 5. Stroommeting, noordgaande stroom.  
54a. S22. " zuidgaande stroom.  
54b. S22. " noordgaande stroom.  
55a. S25. " zuidgaande stroom.  
55b. S25. " noordgaande stroom.  
56a. S32. " zuidgaande stroom.  
56b. S32. " noordgaande stroom.  
57a. S35. " zuidgaande stroom.  
57b. S35. " noordgaande stroom.  
58. Verdieping van den zeebodem buiten de haven.  
59. Halingmeting in S 1 en S 32.

-----

HOOFDSTUK I. Overzicht, gegevens en uitkomsten.

1. Opdracht en omschrijving.

Namens den Provincialen Dienst, ~~het~~ Verbetering Friesche kanalen, en den Rijkswaterstaat werd bij brief van 17 Januari 1940 nr. 257 van den Hoofdingenieur van den Rijkswaterstaat in het arrondissement Leeuwarden opdracht gegeven tot het verrichten van een modelonderzoek betreffende de haven van Harlingen. Dit onderzoek werd wenschelijk geoordeeld in verband met:

- a. het maken van een nieuwe Buitenhaven voor de direct ten Noorden van Harlingen te maken uitmonding van het Nieuw Provinciaal kanaal Fonejacht-Harlingen (van Harinxmakanaal);
- b. het tegelijkertijd verbeteren van den haveningang, welke thans voor grootere zeeschepen vrij moeilijk bevaarbaar is.

Het modelonderzoek moet bijdragen tot het vaststellen van een situatie, welke hieraan voldoet en die tevens waarborgen biedt tegen het in hinderlijke mate binnendringen van de deining. Bovendien is het wenschelijk, dat de aanslibbing in de haven niet belangrijk zal toenemen.

De elementen welke kunnen worden gevarieerd, zijn:  
de ligging van den nieuwen havendam (Noorderhavendam);  
de ligging en de lengte van een eventueele verlenging van den Zuiderhavendam;  
het verkorten en eventueel gedeeltelijk omleggen van den bestaanden Noorderhavendam, welke in het vervolg Middenhavendam zal worden genoemd en  
een eventueele verwijdering, verkorting of omlegging van het Oude Zuiderhavenhoofd.

Bovendien moet worden nagegaan de invloed van enkele verbouwingen in de haven, o.a. het opruimen van den steiger van de Terschellinger postboot.

2. Gegevens.

a. Situatie.

Figuur 1 geeft een overzicht van de Waddenzee in de omgeving van Harlingen, ontleend aan diverse opnemingen; figuur 2 een overzicht van de haven met geprojecteerde nieuwe Buitenhaven.

Voor de haven in den bestaanden toestand werd beschikt over een tot 1 Januari 1940 bijgewerkte teekening schaal 1:1000.

b. Bodemligging.

De diepten in en nabij de haven zijn ontleend aan peilkaarten van 1939.

c. Stroomen.

Door den Rijkswaterstaat, directie Benedenrivieren zijn op 22 November 1939 in zes punten stroommetingen verricht.

Hierbij is op verschillende tijdstippen de snelheidsverdeling over de verticaal naar de richting en grootte bepaald.

Tevens is het verloop van den waterstand en van de richting en de snelheid van den wind waargenomen.

De meetpunten zijn zoodanig gekozen, dat de randvoorwaarden voor het model aan de hand van de uitkomsten der metingen konden worden vastgesteld.

Zij zijn aangegeven in figuur 2. Daarin zijn tevens de voornaamste uitkomsten opgenomen.

#### d. Waterstanden.

Bij den dienst der Zuiderzeewerken was een aantal gegevens aanwezig omtrent de frequentie der hoge waterstanden na de afsluiting der Zuiderzee. Op grond hiervan zijn zoo goed mogelijk eenige frequentielijnen samengesteld, welke in figuur 3 zijn geteekend. Deze figuur bevat in de eerste plaats een lijn waarop kan worden afgelezen, welk deel van het totale aantal hoogwaters bepaalde peilen overschrijdt. Drie afzonderlijke (roode) lijnen geven hetzelfde aan, telkens voor windrichtingen uit een bepaalde sector van 45 graden.

Om na te gaan, op welke waterstanden bij het modelonderzoek moest worden gerekend, is echter van meer belang de tijd gedurende welke de waterstand een bepaald peil overschrijdt. Deze tijd wordt voorgesteld door de vier blauwe lijnen, welke aan de hand van de gemiddelde gedaante van de getijlijn uit de vorige zijn afgeleid. Zij geven resp. het deel van den totalen tijd waarin de waterstand hooger is dan een bepaald peil, en het aandeel daarvan bij windrichtingen uit de drie voor de deining te Harlingen meest belangrijke sectoren. Daar het aantal uren per jaar 8766 bedraagt, kan de overschrijdingsduur in uren per jaar van een bepaald peil uit de frequentie worden gevonden door te vermenigvuldigen met dat bedrag, of ten naaste bij met 10<sup>4</sup>.

#### e. Windsnelheden.

De frequenties van de te Harlingen voorkomende windsnelheden bij verschillende richtingen zijn gebaseerd op gegevens uit de jaarboeken 1904 tot 1939 van het Koninklijk Nederlandsch Meteorologisch Instituut. Hieruit zijn genomen de frequenties te de Bilt op 20 m hoogte. De windsnelheden zijn in de eerste plaats omgerekend tot de thans gangbare hoogte van 6 m en vervolgens vermenigvuldigd met een - voor elke windrichting afzonderlijk bepaalde - reductiefactor, welke het verschil tusschen de Bilt en Harlingen tot uitdrukking brengt. De zoo verkregen frequenties zijn weergegeven in figuur 4. De richtingen zijn steeds aangeduid in graden ten opzichte van het Noorden. Naar het Oosten gaande is het positieve, naar het Westen het negatieve teeken gebruikt.

#### f. Golfhoogten.

Om te trachten een indruk te krijgen van de golfhoogten buiten den havenmond, zijn door een waarnemer gedurende het tijdvak 1936-1940 de golfhoogten geschat, welke bij storm op ongeveer 50 m zeewaarts van den kop van den Zuiderhavendam optraden. De bijbehorende windkracht is eveneens geschat. Volgens deze waarnemingen

zijn geen hogere golven waargenomen dan omstreeks  $1\frac{1}{2}$  m van top tot dal, bij een waterstand van ongeveer N.A.P. + 3 m.

Tijdens het modelonderzoek ontstond de gelegenheid om deze waarnemingen, welke uiteraard een vrij groot element van onzekerheid bevatten, aan te vullen met een meer objectieve werkwijze.

Begin <sup>ontworpen</sup> December 1941 is door den Algemeenen Dienst van den Rijkswaterstaat <sup>een</sup> registreerende deiningmeter aangebracht tegen het steigerwerk van den bestaanden Noorderhavendam, op de plaats die in figuur 12 is gemerkt met een groene stip. Deze is met enkele onderbrekingen in werking geweest van 4 December 1941 tot 10 October 1942. Gedurende dat tijdvak is door een daartoe opgestelde anemometer de richting en de snelheid van den wind geregistreerd.

Tabel I geeft een overzicht van de voornaamste uitkomsten van deze metingen. Op de beteekenis ervan voor het bewerken van de resultaten van het modelonderzoek wordt in paragraaf 9 teruggekomen.

Omtrent de golven welke door de plaatselijke werking van den wind in de haven zelf worden opgewekt, zijn zeer weinig gegevens aanwezig. Op grond van een berekening kan men in de Nieuwe Willemshaven, het langste bekken, bij een windsterkte van 19 m per sec in de lengterichting golven verwachten van bijna 0,5 m hoogte en een periode van 2 sec. In den tegenwoordigen toestand wordt van deze golven nimmer hinder ondervonden, wat waarschijnlijk mag worden toegeschreven aan hun kleine periode (dus ook kleine lengte). De golven die bij zuidoostelijken wind zijn opgeteekend door den deiningmeter, hebben een hoogte en een periode die met dit resultaat behoorlijk overeenkomen.

#### g. Aanslibbing.

Het slibgehalte van het zeewater bij Harlingen is onvoldoende bekend. Waarschijnlijk bevat het water, in tijden van weinig wind enkele tientallen grammen slib per  $m^3$ ; in stormachtige perioden kan het gehalte oploopen tot eenige honderden grammen per  $m^3$ . Als gemiddelde zou wellicht kunnen worden gesteld 0,05 kg/ $m^3$ .

Ook over de dichtheid waarmee het slib wordt neergezet, zijn weinig gegevens beschikbaar. Naar analogie van wat elders wordt waargenomen kan worden geschat, dat een kubieke meter specie den eersten tijd na het afzetten ongeveer 600 kg droge stof bevat.

De hoeveelheid die periodiek in en vóór de haven wordt gebaggerd, is vermeld in een nota van Augustus 1941 van den Rijkswaterstaat. In de voorhaven wordt ongeveer 50000  $m^3$  per jaar afgezet, overeenkomend met een schijf van 1,3 m dikte. In de richting van de sluizen neemt de dikte geleidelijk af tot minder dan 0,2 m per jaar. Gering is de aanslibbing in de Nieuwe Willemshaven. In het geheel zal de aanslibbing gemiddeld 80000  $m^3$  per jaar bedragen.

Bovendien moet buiten den havenmond over een oppervlak van ruim 40000  $m^2$  jaarlijks ongeveer 35000  $m^3$ , dus een schijf van 0,8 m dikte, worden gebaggerd.

#### h. Spuien.

In tijden van groot waterbezwaar wordt door de sluizen van Harlingen water van Frieslands Boezem gespuid naar zee. Uiter-

aard geschiedt, dit spuien alleen tijdens de periode van laagwater. Noch de sterkte van den spuistroom, noch het aantal uren waarin jaarlijks wordt gespuid, is ons bekend. De orde van grootte van de per jaar gespuide hoeveelheid water zal honderd millioen kubieke meter zijn.

Er moet op worden gerekend, dat in de toekomst bovendien veelvuldig zal worden gespuid om het ingedrongen brakke water uit den boezem te verwijderen. Omtrent de hiervoor te gebruiken hoeveelheden staat nog niets vast.

### 3. Eischen.

Zooals uit paragraaf 1 volgt, betreffen de aan de nieuwe situatie van de haven gestelde eischen ten eerste een gemakkelijke invaart en ten tweede een voldoende beschutting tegen het binnendringen van deining.

Ten aanzien van het eerste punt zijn tegen de bestaande situatie in hoofdzaak de volgende bezwaren tot uitdrukking gebracht.

a. De invaartwijdte van 70 m is te klein. Bij de proeven is daarom steeds met een wijdte van 100 m of meer gewerkt. Naar aanleiding van tijdens het onderzoek gevoerde besprekingen, is een wijdte van 110 m aanvaard als gewenscht en voldoende.

b. De stralen der vaarwegen, zoowel naar het Dok, als naar de Nieuwe Willemshaven, zijn te klein. Stralen van 250 m voor de zee- en van 150 m voor de binnenscheepen zijn gewenscht.

Ten aanzien van het tweede punt is de moeilijkheid ondervonden, dat een bepaald criterium voor den hinder door deining ontbreekt.

Niet op elk punt van de haven zijn de eischen dezelfde. In de voorhaven verkeerden alleen zeegaande schepen. De toestand is daar in elk geval gunstiger dan buiten, tenminste als er voldoende ruimte is om te manoeuvreren. Er is dus geen reden om ten aanzien van dit gebied bepaalde eischen te formuleeren.

Verder naar binnen verkeerden ook binnenscheepen, welke van het eene havenbekken naar het andere gaan, in het bijzonder van de nieuwe sluis naar een der bekkens en omgekeerd. Tijdens de allerswaarste stormen ligt dit verkeer stil; het werd echter gewenscht gevonden, <sup>dat</sup> het bedrijf in de haven voortgang kan vinden in omstandigheden welke elk jaar, zij het slechts gedurende enkele uren, kunnen voorkomen.

Nog gevoeliger voor deining zijn gemeerd liggende schepen, vooral tijdens laden en lossen.

De hoogten voor golven met een periode van omstreeks vier seconden die nog kunnen worden toegelaten voor de varende en voor de lossende binnenscheepen, dus op den vaarweg en in de havens, moet worden gevonden met behulp van de wetenschap, dat de toestand van thans (S.O) alleszins toelaatbaar is, doch dat de toestand van vóór 1911 zóó onhoudbaar was, dat hij noopte tot ingrijpen. Over dezen toestand zijn gegevens beschikbaar in een van November 1906 dateerend rapport van den Inspecteur-Generaal van den Rijkswaterstaat B. Hoogenboom en in publi-

caties van de hand van ir. J. Lely<sup>x)</sup> en Jhr. ir. F. L. Ortt<sup>xx)</sup>. Hierin wordt opgegeven, dat in de voorhaven de hoogte van de deining 1,5 m, die in het Dok en in de Nieuwe Willems haven meer dan 0,4 m kon bedragen. De laatste waarde is dus voor gemeerd liggende binnenschepen, de eerste ook voor varende schepen, ontoelaatbaar hoog.

Voor den huidige toestand zijn geen nauwkeurige gegevens over de van buiten komende deining beschikbaar. Wel is bekend dat zij zeer gering is: in de havens minder dan een decimeter. In den vaarweg ten oosten van het Oude Zuiderhavenhoofd is de beweging wat grooter, doch stellig blijft daar de golfhoogte ver onder die op de plaats van den deiningmeter, waar 0,9 m is gemeten en dus meer dan een meter kan voorkomen.

Eerst op grond van de modelproeven (par. 13 en 14) is komen vast te staan, dat thans de maatgevende golfhoogte binnen het Oude Zuiderhavenhoofd omstreeks twee decimeter en in de havens minder dan één decimeter is.

Uit het voorgaande volgt, dat in den vaarweg de golfhoogte meer dan 0,2 m mag bedragen, doch veel kleiner dan 1,5 m moet zijn. Voor de havens mag 0,1 m worden overschreden, doch 0,4 m niet worden bereikt.

Men had gehoopt voor het interpoleeren gebruik te kunnen maken van de aanwijzingen van den deiningmeter. Men kan zich voorstellen, dat schippers zich kunnen uitspreken over den hinder die zij bij het passeeren van dat toestel hebben ondervonden. De hoogte van de golven die dien hinder zouden veroorzaken, zou dan uit het diagram van den deiningmeter kunnen worden afgelezen. Dergelijke waarnemingen zijn echter niet gedaan en men was dus voor het bepalen van de grenzen aangewezen op min of meer vage beschouwingen.

Deze beschouwingen hebben uiteindelijk geleid tot den eisch dat onder omstandigheden welke hoogstens eenmaal per jaar voorkomen de deining in de Willems haven (het Dok) en de Nieuwe Willems haven niet hooger dan 0,2 m, die in den vaarweg voor de binnenschepen van de Oude, respectievelijk Nieuwe, Buitenhaven naar de Willems haven en de Nieuwe Willems haven niet hooger dan 0,45 m mag zijn.

#### 4. Verloop van de werkzaamheden.

Na de opdracht op 17 Januari 1940 kon wegens plaatsgebrek niet vóór Juli van dat jaar met den bouw van het model worden begonnen. De bouwtijd bedroeg zeven maanden, met een onderbreking van anderhalve maand. Het geheel bedrijfsklaar maken van het model, het stellen van de inrichting voor het opwekken der golven en het regelen van de stroomverdeeling vergde ongeveer zes weken, zoodat op 14 Maart 1941 met de eigenlijke proeven kon worden begonnen. Op 7 October 1942 werd de laatste meting verricht.

Met de leiding van het modelonderzoek was tot 1 Augustus 1941 belast ir. S. J. van Kregten, daarna ir. J. Rol. Het verslag is grootendeels vervaardigd door ir. J. B. Schijf.

De proeven zijn uitgevoerd in gedurig overleg met de opdrachtgevers aan wie de voorloopige uitkomsten, naarmate zij

x) ir. J. Lely. De werken tot verbetering van de haven te Harlingen. De Ingenieur 1913, nr. 20.

xx) Jhr. ir. F. L. Ortt. De haven van Harlingen en de vaargeul door de Pollen. Tijdschr. van het Kon. Inst. v. Ing. 1889-1890.

beschikbaar kwamen, geregeld zijn meegedeeld.

### 5. Overzicht van de uitkomsten.

1. De deiningmeter (par. 2, f en tabel I) heeft in den havenmond golven geregistreerd met een periode tot 3,3 sec en een hoogte tot 0,9 m. De hoogste golven kwamen voor bij een waterstand van N.A.P. + 0,7 m en NNW wind met een snelheid van 14 m/sec. In paragraaf 9 is een vergelijking gemaakt tusschen de resultaten van den deiningmeter en de afmetingen der golven welke in de gegeven omstandigheden op dezelfde plaats zouden worden verwacht op grond van berekeningen, voor zoover betreft de golven buiten de haven, en van modelmetingen, voor zoover betreft het verband tusschen de golven buiten de haven en die ter plaatse van den deiningmeter. Het resultaat van de vergelijking (fig. 10) is, dat in het algemeen bij zwakken wind de geregistreerde, bij krachtigen wind de berekende golven het grootste zijn. Daar het bij het modelonderzoek gaat om de omstandigheden bij krachtigen wind, is een zekere veiligheidsmarge verkregen door de berekende golven als grondslag te nemen.

2. In het model is bij een situatie, overeenkomende met die van vóór 1911 (S-1, par. 14) een sterke golfbeweging waargenomen. Het water is vooral woelig bij wind uit het westelijke kwadrant. Bij toestanden die men gemiddeld enkele uren per jaar mag verwachten, is de golfhoogte in de voorhaven 1,5 m, in het Dok 0,5 m en in de Nieuwe Willems-haven 0,3 m. In de werkelijkheid zijn in de voorhaven golven waargenomen van 1,5 m, in de beide havenbekkens van meer dan 0,4 m (par. 2). De metingen in het model stemmen hiermede dus goed overeen.

3. Het model heeft bevestigd, dat het uitbouwen der havenhoofden in 1911-1912, voor zoover de golfbeweging betreft, een volledig succes is geweest. De deining uit de Waddenzee dringt in de thans aanwezige situatie (par. 16) slechts in geringe mate naar binnen. In den verbindingsweg tusschen de beide havenbekkens hebben de modelmetingen een grootste golfhoogte opgeleverd van 0,2 m, in de havenbekkens zelf bleef de deining onder 0,1 m.

4. Op grond van de aanwezige gegevens over den toestand voor, zoowel als na de uitbreiding van 1911-1912 en van de ervaring op andere plaatsen, is voor de grenzen van de toelaatbare golfhoogte, respectievelijk voor varende en voor gemeerd liggende binnenschepen vastgesteld 0,45 m en 0,2 m.

5. De volgende maatregelen hebben een vergrooting van de golfhoogte in de haven tengevolge:  
verwijden van den havenmond,  
baggeren buiten dien havenmond,  
verwijderen of verkorten van het Oude Zuiderhavenhoofd  
en in mindere mate ook  
wegnemen van het paalwerk aan de binnenzijde van den Zuiderhavendam.

6. De golven worden verkleind door:

verlengen van den Zuiderhavendam, naar het Oosten draaien van den haveningang **en waarschijnlijk eenigermate** door plaatsen van schermen loodrecht op de havendammen en maken van zeer flauwe beloopten (stranden).

7. Nadat door het onderzoek van een aantal situaties met een nieuwen Noorderhavendam eenig inzicht was verkregen in de werking van verschillende traceeringen, is een viertal door den hoofdingenieur van den Rijkswaterstaat in het arrondissement Leeuwarden opgestelde plannen, aangeduid met A, B, C en D (tabel II), meer uitvoerig onderzocht.

8. Het plan A (S 18 tot en met S 21, fig. 11) omvat een licht gebogen Noorderhavendam, waarvan de kop ligt 35 m binnen dien van den bestaanden Zuiderhavendam; 55 m verlenging van den laaststen; 35 m verkorting van het Oude Zuiderhavenhoofd; mondwijdte 110 m. Bij dit plan wordt niet voldaan aan de gestelde eischen. In den vaarweg voor de binnenschepen wordt de grens van 0,45 m juist bereikt, doch in de havenbekkens zijn golfhoogten van omstreeks 0,3 m gemeten (par. 19, S 18 tot en met S 23).

9. Bevredigende uitkomsten zijn verkregen met het plan B. Dit plan, met rechten Noorderhavendam, gebogen verlenging van den Zuiderhavendam en mondwijdte 110 m (S 24 tot en met S 32, fig. 11) biedt uit scheepvaartpunt de meest voordeelige situatie. Op grond van uitvoerige metingen kan worden vastgesteld, dat met een verlenging van 250 m aan de gestelde eischen wordt voldaan. Als grootste golfhoogten zijn daarbij gemeten in den vaarweg voor de binnenschepen bijna 0,4 m, in de Nieuwe Willemshaven wat minder en in het Dok wat meer dan 0,2 m (S 32, par. 20).

10. Plan C vertoont een situatie met licht gebogen Noorderhavendam en een rechte verlenging van den Zuiderhavendam met 180 m op zoodanige wijze, dat de diepe kuil vóór den bestaanden kop wordt vermeden. De mondwijdte is weer 110 m (S 33, 34 en 35, fig. 11).

De in deze situatie gemeten golven overschrijden, vooral in den vaarweg en de Nieuwe Willemshaven, de aangenomen grenzen ver (par. 21, S 35). Voor een afdoende verbetering zou een aanzienlijke verdere verlenging van den Zuiderhavendam noodig zijn. Dit zou de uitvoering belangrijk duurder maken, waardoor het voordeel tegenover plan B, dat uit scheepvaartpunt is te verkiezen, geheel of grootendeels verloren zou gaan.

11. Bij plan D wordt een deel van den bestaanden Noorderhavendam in den nieuwen opgenomen. De Zuiderhavendam blijft onveranderd, terwijl de havenmond tot 100 m wordt verwijd (S 36, 37, 38, fig. 11). De deining bleef in het model, ondanks verkorting van het Oude Zuiderhavenhoofd, met 0,4 m in den vaarweg en omstreeks 0,15 m in de havenbekkens, behoorlijk binnen de vastgestelde grenzen (par. 22).

12. Over de golven die door den plaatselijken wind in de lange havenbekkens worden opgewekt, konden in het model geen proeven worden gedaan. Ook door berekeningen kan hierover weinig met zekerheid worden gezegd, omdat verscheidene storende factoren in het spel zijn, die bezwaarlijk in rekening zijn te brengen. Men moet wel verwachten dat deze golven in de toekomst van iets meer

belang zullen kunnen zijn dan in de huidige situatie, waar uit dezen hoofde geen hinder wordt ondervonden. Deze golven kunnen worden verzwakt door het maken van steigers en andere hindernissen (par. 24).

13. Wanneer tengevolge van den aanleg der nieuwe werken het binnen den havenmond gelegen oppervlak toeneemt, zal de uitwisseling van water tusschen de Waddenzee en de haven daardoor uiteraard worden vergroot. Hiervan is tevens een vergroting van den slibaanvoer en daarmee van de aanslibbing het gevolg. De stroommetingen geven geen reden om te vreezen, dat de uitbreiding van de haven volgens een der ontwerpen A, B, C of D zal leiden tot een vergroting van de aanslibbing tengevolge van extra-uitwisseling door stroomen in den havenmond (par. 25), of van het optreden van een sterke haling (par. 26).

Het slibbezwaar zal belangrijk worden vergroot, wanneer met de nieuwe sluis meer zal worden gespuid dan thans met de bestaande sluizen geschiedt.

14. Bij alle situaties die voldoende beschutting bieden tegen het binnendringen der golven om in aanmerking te komen voor uitvoering, zijn de stroomen langs den Noorderhavendam niet bijzonder krachtig. De stroomsterkten langs den kop van den Zuiderhavendam zijn ongeveer even groot als in de bestaande situatie.

Een nog aanwezige neiging tot verdieping van den zeebodem buiten de haven kan worden bestreden door inkorten van het oostelijke uiteinde van den Pollendam.

Bij geen der vier situaties A, B, C en D komen hinderlijke stroomen voor in de omgeving waar de binnenkomende schepen moeten draaien om slaags te komen voor den havenmond. Evenmin is dit het geval in en bij den havenmond zelf (par. 25).

-----

HOOFDSTUK II. Het model.

6. Grenzen en schalen.

De waterbeweging in de omgeving van den havenmond mag niet onder den invloed staan van de grenzen van het model. Het werd daarom noodzakelijk geoordeeld, met het oog op den stroom, de afmetingen van het in het model te reproduceeren gebied in de lengterichting (de richting SWtS - NETN) uit te breiden tot 1,3 km aan weerszijden van den kop van den Zuiderhavendam; in de breedterichting ligt zoowel zee- als landwaarts de grens op 0,7 km van dit punt. De zeewaartsche begrenzing is gelegd langs een der stroomlijnen die op grond van de in paragraaf 2,c vermelde metingen zijn bepaald. Op den gekozen afstand uit de kust wijken de stroomlijnen bij doorstaand noordgaand en zuidgaand tij niet veel van elkander af.

De afmetingen van het in het model weergegeven terrein zijn dus 2,6 x 1,4 km (fig. 1 en 2).

In de beschikbare ruimte kon een model van dit gebied worden geplaatst, wanneer voor de lengteschaal (n) werd genomen 80 (onder schaal wordt verstaan de verhouding tusschen een grootheid in de werkelijkheid en de daarmee overeenkomende in het model). Voor het natuurgetrouwe gedrag van de golven, in het bijzonder bij het treffen van belooopen, is het niet aan te bevelen de verticale afmetingen op een andere schaal te verkleinen dan de horizontale. Ook de diepteschaal heeft daarom de waarde 80 gekregen.

Wanneer geen bijzondere maatregelen worden genomen, hangen de schalen voor de overige grootheden op eenvoudige wijze samen met n. Voor de schaal der snelheden (de voortplantingsnelheid der golven inbegrepen) vindt de regel van Froude toepassing, waaruit volgt:

$$n_v = n^{\frac{1}{2}} = \sqrt{80} = 8,94.$$

Dezelfde waarde geldt voor de tijdschaal  $n_t$ .

In de onderstaande tabel zijn de voornaamste schalen samengevat:

lengten en hoogten	:	n	=	80
oppervlakten	:	$n_F = n^2$	=	6400
inhouden en krachten	:	$n_V = n^3$	=	512000
snelheden	:	$n_v = n^{\frac{1}{2}}$	=	8,94
tijden	:	$n_t = n^{\frac{1}{2}}$	=	8,94
afvoeren	:	$n_Q = n_F \cdot n_v = n^{2\frac{1}{2}}$	=	57200

7. Beschrijving.

Zooals uit figuur 2 blijkt, wordt een in hoofdzaak rechthoekig gebied weergegeven. De afmetingen hiervan in het model zijn bijna 33 x 18 m<sup>2</sup>. De afstand tusschen de kolommen van de groote hal van het laboratorium is 18 m, zoodat het model de geheele breedte in beslag neemt. Een moeilijkheid bij het opstellen vormde de Nieuwe Willems haven, welke buiten den bedoelden

rechthoek uitsteekt. Een oplossing hiervoor kon worden gevonden door de plaatsing zoo te kiezen, dat deze haven in een der bij de groote hal aansluitende pompkamers valt. Hiertoe was het echter noodig het model te spiegelen. Dit is voor de gelijkvormigheid van de waterbeweging zonder bezwaar.

Figuur 5 toont de ligging van het model in het laboratorium.

Het model wordt begrensd door een waterdichte baksteen ringmuur. Daarbinnen zijn de bodem en de havenwerken uitgevoerd in cementmortel. Een enkele maal is ter wille van den snellen voortgang der proeven een gedeelte van den bodem of van een havendam van grind gemaakt.

Het model is voorzien van inrichtingen voor het opwekken van de getijstroomen en van golven. Voor de eerste is langs elk der korte zijden van het model een goot aangelegd, welke naar verkiezing door middel van een buisleiding met water kan worden gevoed of in verbinding kan worden gebracht met afvoeropeningen.

Aan de Noordoostzijde van het model wordt de watertoevoer gemeten met een cirkelvormige meetstuw. De verbinding tusschen de goot en het model wordt daar gevormd door vijf kokers van 0,06 m hoogte en 0,40 m breedte onder de hierna te bespreken golfschotten door. De verdeeling van den stroom over de breedte van het model is in overeenstemming gebracht met de werkelijkheid (par. 2) door plaatselijk opstuwen van het water in de goot.

De watertoevoer aan de Zuidwestzijde geschiedt door een buis met Venturimeter. De goot aan deze zijde is van het eigenlijke model gescheiden door een muur van gestapelde baksteen, waartusschen openingen zijn gespaard. Door het regelen van die openingen en door middel van leidschotten kan hier de gewenschte stroomverdeeling worden verkregen.

De beschreven inrichting maakt het mogelijk in beide richtingen een permanenten (niet met den tijd veranderenden) stroomingstoestand in te stellen.

Voor het opwekken van de golven zijn langs de naar NEN en NWtW gekeerde zijden van het model golfschotten opgesteld. Dit zijn vlakke schotten welke draaibaar zijn om een laag gelegen horizontale as. De aandrijving geschiedt door een gelijkstroommotor van  $1\frac{1}{2}$  P.K., welke door middel van een excentriek en een vertragingsmechanisme een heen- en weergaande beweging geeft aan twee lange assen, een in de lengterichting en een in de breedterichting langs het model. Door hefboomen wordt deze beweging meegedeeld aan de golfschotten. De vereischte golfperiode wordt verkregen door met een voorschakelweerstand het toerental van den aandrijfmotor te regelen; de golfhogte door het instellen van een excentriek.

De figuren 7a en b geven een overzicht van het model in de bestaande situatie (met weggenomen Oude Zuiderhavenhoofd, S 1), met de golfschotten op den achtergrond, figuur 7c toont de aanbevolen situatie (S 32).

## 8. De meetwijzen.

### a. Waterstand.

In de Nieuwe Willems haven is een peilnaald opgesteld,

met behulp waarvan de waterstand kan worden afgelezen tot op ongeveer een tiende millimeter (werkelijkheid een centimeter) nauwkeurig.

b. Debiet.

Zooals reeds in de vorige paragraaf is vermeld, wordt het debiet in de eene richting (zuidgaand tij) gemeten met een cirkelvormige meetstuw, dat in de andere richting (noordgaand tij) met een Venturimeter in de toevoerleiding. De hoeveelheden, ongeveer  $0,15 \text{ m}^3/\text{sec}$  (werkelijkheid  $4300 \text{ m}^3/\text{sec}$ ), kunnen worden ingesteld met een nauwkeurigheid van een tot twee procent.

c. Stroomsnelheid.

De stroomsnelheden zijn bepaald door de plaats van een drijver op verschillende tijdstippen vast te leggen.

Dit wordt gedaan met behulp van een fotoestel dat met geopenden sluiters verticaal boven het model wordt opgesteld, waarbij het matglas is vervangen door transparant papier, op een glazen plaat gelegd. De waarnemer teekent met regelmatige tusschenpoozen de projecties van een aantal drijvers aan. In den regel worden als drijvers brandende waxinekaarsjes gebruikt.

d. Golfhoogten.

De golfhoogte, waaronder wordt verstaan de verticale afstand tusschen top en dal van een golf, is gemeten door middel van een differentiaalpeilnaald. Dit toestel (fig. 8) <sup>van</sup> bestaat uit twee langs elkaar glijdende staven, waarvan de eene een millimeterverdeling, de andere van een nonius is voorzien, zoodat het onderlinge verschil in stand kan worden afgelezen. Aan de onderzijde van elk der staven bevindt zich een spitse punt, zooals bij een gewone peilnaald.

Het meten van de golfhoogte bestaat hierin, dat één dezer naalden (de topnaald) wordt ingesteld op de hoogte der golftoppen, de andere (de dalnaald) op de hoogte der golfdalen. Voor het instellen wordt gebruik gemaakt van een langs electrischen weg voortgebracht signaal. De beide naalden staan in verbinding met een generatorkring. Wanneer de dalnaald contact maakt met het water en de topnaald niet, ontstaat een constante bromtoon. Zoodra de topnaald het water raakt, wordt deze toon onderbroken, terwijl verbreken van het contact tusschen de dalnaald en het water een lageren toon teweegbrengt. De waarnemer luistert in een koptelefoon en stelt de twee naalden zoo in, dat hij de gewenschte opeenvolging van tonen hoort. Deze wordt met het oog op de onregelmatigheden in de golfbeweging zoo gekozen, dat een tiende deel van het totale aantal golven de topnaald raakt en eenzelfde deel de dalnaald loslaat. Elke meting strekt zich uit over een honderdtal golven.

Daar de hoogte van de golven voortdurend varieert, kan de maat die door het tiende deel wordt overschreden niet scherp worden vastgelegd. Op een speling van tien procent in de genoteerde golfhoogte moet worden gerekend.

e. Haling.

Het toestel dat voor het meten van de hoogte van de haling wordt gebruikt, bestaat in hoofdzaak uit een vlotter van paraffin welke zoodanig is bevestigd, dat zijn horizontale verplaatsingsmogelijkheid sterk is beperkt. De verticale beweging wordt door middel van een hefboom omgezet in het draaien van een spiegeltje om een horizontale as. Dit geeft een afwijking aan een, via een

scherm met een pijlvormige spleet, op dit spiegeltje geworpen lichtbundel tengevolge waarvan de projectie van die spleet op een scherm met verdeeling wordt verplaatst.

De verticale beweging van den vlotter kan op deze wijze met een 50- tot 100-voudige vergrooting op het scherm worden afgelezen. Door met regelmatige tusschenpoozen, bijvoorbeeld elke twee sec, een aflezing te doen, kan men het verloop van de schommelingen van den waterstand zeer nauwkeurig vastleggen.

Een dergelijk toestel, dat in figuur 9 is weergegeven, was gedurende een deel der proeven opgesteld achter in de Nieuwe Willemshaven, een tweede nabij de nieuwe schutsluis.

-----

### HOOFDSTUK III. De modelproeven.

#### 9. De grondslagen voor de proeven.

Daar de schade door deining, wanneer deze in de haven de toelaatbare grens overschrijdt, in het algemeen van beperkten omvang blijft, behoeven de eischen in het onderhavige geval minder hoog te worden gesteld dan bijvoorbeeld bij aanleg van een dijk, waar in geval van doorbraak de gevolgen veel ernstiger zijn. Het kan voldoende worden geacht, te zorgen dat storingen van het havenbedrijf door te sterke golfbeweging niet te veelvuldig voorkomen. Als grondslag voor de proeven is daarom aangenomen dat in omstandigheden welke minder dan enkele uren per jaar heerschen, de deining in de haven de gestelde grenzen (par. 3) eenigszins te boven mag gaan. Wil men een afdoende beschutting uitbreiden tot combinaties van waterstanden en windsterkten van geringer frequentie, dan moet men zich daarvoor opofferingen getroosten (moeilijker in- en uitvaart, hoogere aanlegkosten) die zeker niet opwegen tegen het bereikte voordeel.

Uit de frequentielijnen der waterstanden in figuur 3 volgt, dat een overschrijdingsfrequentie van enkele uren per jaar, dus bv.  $3 \times 10^{-4}$ , overeenkomt met een waterstand van ongeveer N.A.P. + 2,6 m. Het gevaar voor het binnendringen van golven in de haven is het meest van belang bij wind uit den sector West ten noorden ( $-79^{\circ}$ ) tot Noordoost ten noorden ( $+34^{\circ}$ ). Het zou onjuist zijn voor elke windrichting binnen dezen sector den genoemden waterstand te combineeren met een windsterkte die dezelfde frequentie heeft. Niet alleen bestaan er vrij groote verschillen in de sterkte van den wind uit verschillende richtingen bij gelijke frequentie, maar bovendien komen hooge waterstanden bij bepaalde windrichtingen in sterkere mate voor dan bij andere.

Om die redenen is op de volgende wijze tewerk gegaan. Uit de lijnen in figuur 3 is opgezocht welke waterstanden bij wind uit de drie sectoren: WtN tot NwtN ( $-79^{\circ}$  tot  $-34^{\circ}$ ), NwtN tot NtE ( $-34^{\circ}$  tot  $+11^{\circ}$ ) en NtE tot NEtE ( $+11^{\circ}$  tot  $+56^{\circ}$ ) behooren bij de frequentie  $10^{-4}$ . Dit zijn respectievelijk de standen N.A.P. + 2,8 m, N.A.P. + 2,2 m en N.A.P. + 1,4 m. Deze zijn als grondslag genomen voor de windrichtingen volgens de deellijnen van de drie sectoren, dus NwtW ( $-56^{\circ}$ ), NtW ( $-11^{\circ}$ ) en NEtN ( $+34^{\circ}$ ). De waterstanden bij andere richtingen van den wind (en dus van de golven) waarbij in het model is gemeten, zijn door inter- of extrapolatie hiermede in overeenstemming gekozen.

De op deze wijze verkregen waterstanden zijn gecombineerd met de windsterkten met dezelfde frequentie. In figuur 4 zijn de frequenties der windsnelheden aangegeven voor sectoren van  $22\frac{1}{2}$  graad. Met de frequentie van  $10^{-4}$  per  $45^{\circ}$  komt hier overeen  $5 \cdot 10^{-5}$  per  $22\frac{1}{2}^{\circ}$ . De daarbij behorende windsnelheden bij de drie hoofdrichtingen NwtW, NtW en NEtN zijn respectievelijk  $21\frac{1}{2}$ , 18 en  $14\frac{1}{2}$  m per sec.

In het model kon niet de stormwind worden nagebootst, maar moest de deining rechtstreeks worden opgewekt. Het ging er dus om te bepalen, welke afmetingen de golven voor de haven zullen verkrijgen bij de gekozen combinaties van waterstand en windsterkte. Hiertoe is gebruik gemaakt van een berekeningwijze, welke in het laboratorium op grond van stelselmatige proeven over

het groeien van golven is ontwikkeld en welke reeds eerder voor soortgelijke gevallen is toegepast. Deze leidt tot de volgende uitkomsten:

Wind		Waterstand	Golven		
richting	snelheid		lengte	hoogte	periode
NWtW(-56°)	21½ m/sec	N.A.P.+ 2,8 m	29½ m	1,7 m	4,6 sec
NtW(-11°)	18 "	" + 2,2 "	24½ "	1,35"	4,1 "
NEtN(+34°)	14½ "	" + 1,4 "	16½ "	0,9 "	3,4 "

De toegepaste berekeningswijze is een benadering, zoodat elke gelegenheid tot toetsing ervan dient te worden aangegrepen. Een dergelijke gelegenheid ontstond in dit geval door de opstelling van den deiningmeter, welke de golfhoogte registreert (par. 2f). Voor een aantal gevallen zijn uit de tegelijkertijd geregistreeerde waterstand en windsnelheid de afmetingen berekend van de golven voor de haven. Deze kunnen niet rechtstreeks worden vergeleken met de waarnemingen van den deiningmeter. Het verband tusschen de golfhoogte buiten en die ter plaatse van den deiningmeter, dat niet bij alle windrichtingen hetzelfde is, is verkregen uit de metingen in het model, waar in de bestaande situatie de voor het toetsen gebruikte gevallen zijn nagebootst (par. 13). Door combineren van de in het model gemeten verhouding van de golfhoogten ter plaatse van den deiningmeter en buiten de haven met de berekening, is voor elk van de beschouwde gevallen de golfhoogte bij den deiningmeter bepaald. De op deze wijze verkregen waarden zijn in figuur 10 vergeleken met de uitkomsten van den deiningmeter.

In het bovenste diagram van figuur 10 is voor elk geval de richting en snelheid van den wind, de waterstand, de berekende en de geregistreeerde golfhoogte uitgezet. Het blijkt dat bij de kleinere windsnelheden de berekende golf vrijwel steeds lager, bij groote windsnelheden echter herhaaldelijk hooger uitvalt dan de geregistreeerde. Dit is verduidelijkt in het onderste diagram, dat de verhouding tusschen de beide hoogten weergeeft als functie van de windsnelheid. De betrekkelijk groote hoogte van de geregistreeerde golven bij vrij zwakken wind kan het gevolg zijn van de aanwezigheid van een uit een voorafgaande periode van sterkeren wind afkomstige deining of van andere storende invloeden, welke bij sterken wind niet, of in relatief mindere mate, werkzaam zijn. Mede met het oog op het feit dat voor het modelonderzoek alleen de groote windsnelheden van belang zijn, kunnen daarom de gevallen met windsnelheid beneden 10 m/sec beter buiten beschouwing blijven.

Hoewel de uitkomsten, ook voor snelheden boven 10 m/sec, eenigermate schijnen te wijzen op een voortgaande stijging van het uitgezette verhoudingsgetal met toenemende windsnelheid, liggen de punten toch te zeer gespreid

om een bepaald verband vast te leggen.

Het gemiddelde verhoudingsgetal bij de windsnelheden boven 10 m/sec bedraagt 1,07, hetgeen dus beteekent, dat de berekende golfhoogte in vergelijking met de gemeten deining zeven procent te hoog is. Met het oog op de onzekerheden in de geheele werkwijze is ervan afgezien op grond hiervan een correctie aan de berekening toe te voegen. Het mogelijk aanwezige verschil tusschen de berekende en de werkelijke deining kan als een veiligheidsmarge worden beschouwd.

Voor eenige windrichtingen behalve de reeds genoemde, waarbij eveneens modelmetingen zijn gedaan, zijn de waterstand en de golfafmetingen deels door inter- of extrapolatie, deels door rechtstreeksche berekening afgeleid. De onderstaande tabel geeft een overzicht van de aan de proeven ten grondslag gelegde omstandigheden:

Windrichting	Waterstand	Golven		
		lengte	hoogte	periode
NWtW (-56°)	N.A.P. + 2,8 m	29½ m	1,7 m	4,6 sec
NWtN (-34°)	" + 2,6 "	28½ "	1,65"	4,5 "
NNW (-23°)	" + 2,4 "	27 "	1,55"	4,4 "
NtW (-11°)	" + 2,2 "	24½ "	1,35"	4,1 "
NtE (+11°)	" + 1,8 "	21 "	1,15"	3,8 "
NEtN (+34°)	" + 1,4 "	16½ "	0,9 "	3,4 "

Bij de proeven met de haven in den toestand van vóór 1911 is er rekening mee gehouden, dat vóór de afsluiting der Zuiderzee de waterstanden met een bepaalde frequentie lager waren dan daarna. Die proeven hebben plaats gehad bij de windrichtingen WtN, NWtW en NWtN, met waterstanden van N.A.P. + 2,3 m, resp. N.A.P. + 2,0 m en N.A.P. + 2,0 m.

Er is niet naar gestreefd, de in de tabel voorkomende waterstanden nauwkeurig in te stellen. Een afwijking van een tot twee decimeter kon zonder bezwaar worden toegelaten.

Bij de richting WtN is op grond van figuur 4 genomen een windsnelheid van 20½ m/sec. Hierbij worden golven berekend van 27½ m lengte en 1,6 m hoogte.

Bij de andere windrichtingen zijn dezelfde golven ten grondslag gelegd als in den bestaanden toestand, ofschoon de waterstanden lager waren en de golven dus iets kleiner.

Bij de proeven is steeds gewerkt met een golfperiode van 0,45 sec in het model, overeenkomend met  $0,45\sqrt{80} = 4$  sec in de werkelijkheid. Voor westelijke winden is deze periode dus feitelijk te klein, voor wind uit het noordoostelijke kwadrant is zij te groot. Bij opzettelijk daarvoor verrichte proeven (par. 21, S 35) is het bekende feit bevestigd, dat lange golven minder worden gedempt dan korte. Wanneer men mag aannemen, dat de bij die proeven verkregen resultaten ook geldig zijn voor andere golfrichtingen dan de onderzochte, dan zou men kunnen afleiden, dat de in de haven gemeten golfhoogten bij een windrichting van -56° met een factor 1,1 tot 1,2 en die

uit de richting  $+34^{\circ}$  met 0,8 tot 0,9 moeten worden vermenigvuldigd. Bij  $-11^{\circ}$  is de modelperiode nagenoeg gelijk aan de juiste; bij tusschengelegen richtingen kan men de correctie bepalen door een ruwe interpolatie.

Met het oog op de onzekerheid in de berekende golfperioden en het feit dat de correcties niet groot zijn en ook de eischen waaraan moet worden voldaan niet scherp kunnen worden geformuleerd, is er van af gezien om de correcties aan te brengen.

Bij de eerste proevenreeksen, toen alleen nog een voorloopige vergelijking van een aantal voor nadere bestudeering in aanmerking komende situaties werd beoogd, is voor alle windrichtingen een waterstand van N.A.P. + 2,0 m toegepast.

De bovenbeschreven combinaties van waterstanden en golven kunnen voorkomen in verschillende fasen van het getij, dus met een verschillenden stroomtoestand. Om die reden moeten de proeven in het algemeen worden gedaan zoowel met stilstaand water, als met stroom langs de kust in noordelijke (noordgaand tij) en in zuidelijke richting (zuidgaand tij). Er is afgezien van het feit, dat een bepaalde combinatie van waterstand en wind bij noordgaand tij niet dezelfde frequentie heeft als bij zuidgaand tij.

#### 10. De bij het meten en het uitwerken gevolgde werkwijze.

Bij elke proef werd de golfhoogte gemeten in een aantal punten binnen de haven en in den havenmond, welke zoo zijn gekozen dat een duidelijk beeld werd verkregen van voortplanten en afvlakken van de deining.

Bij het opwekken der golven is er niet naar gestreefd, telkens de golven buiten de haven op de juiste schaal te reproduceeren. Voor het bepalen van het verband tusschen de afmetingen der golven in het model en in de werkelijkheid diende de gemiddelde golfhoogte in een reeks meetpunten op eenigen afstand buiten de haven, welke telkens waren gelegd op een lijn loodrecht op de voortplantingsrichting der golven, dus evenwijdig aan de in werking zijnde golfschotten. De schaal van de golfhoogte volgt niet rechtstreeks uit de verhouding tusschen de berekende hoogte in de werkelijkheid en het gemiddelde der vergelijkingspunten. Er moet rekening mee worden gehouden dat in het model over den afstand tusschen de vergelijkingspunten en de haven de golven door wrijving worden gedempt.

De wrijving is ook in de werkelijkheid werkzaam, maar wordt daar gecompenseerd door de werking van den wind, welke in het model ontbreekt.

In een reeks van afzonderlijke metingen is voor elke richting afzonderlijk de demping per meter lengte in het model bepaald en met behulp daarvan de dempingsfactor, welke geldt voor den afstand vergelijkingspunten - haven. De schaal die bij elke afzonderlijke meting voor de golfhoogte moet worden toegepast, is nu verkregen door de berekende golfhoogte in de werkelijkheid te deelen door de gemiddelde golfhoogte in de vergelijkings-

punten, vermenigvuldigd met den dempingsfactor.

#### 11. Overzicht van de onderzochte situaties.

De onderzochte situaties worden aangegeven met de letter S en voorzien van een doorgaande nummering. Tabel II en figuur 11 geven een overzicht. Ter toelichting daarbij diene nog het volgende.

S-1. Dit is de aanduiding van de situatie vóór de uitbreiding in 1911.

S 0. Zooals gebruikelijk is, heeft de bestaande toestand het volgnummer 0 gekregen.

S 1. De eenige verandering is het weglaten van het Oude Zuiderhavenhoofd, waardoor de moeilijkheden voor het binnenkomen en uitvaren van groote schepen in sterke mate zouden verminderen.

S 2, S 3 en S 4 vormen een groep van situaties, waarbij de haven een nieuwen mond verkrijgt door den aanleg van een rechten havendam ten Noorden van den bestaanden Noorderhavendam. (De laatste wordt aangeduid met Middenhavendam; onder Noorderhavendam wordt de nieuwe dam verstaan).

De onderlinge verschillen zijn in hoofdzaak te vinden in de wijdte van den havenmond (steeds gemeten op G.L.W.), het al dan niet aanwezig zijn van het Oude Zuiderhavenhoofd en van een doorvaartopening in den Middenhavendam.

S 5. De Noorderhavendam is, met behoud van de plaats van den kop, licht gebogen. Verder is de Middenhavendam verkort en de doorvaart is kleiner gemaakt en naar het Westen verschoven.

S 6 en S 7 hebben eveneens een licht gebogen Noorderhavendam.

De kop is echter 60 m ten opzichte van S 5 naar binnen verplaatst. De Middenhavendam is over ongeveer de halve lengte opgeruimd. Het verschil tusschen de twee situaties zetelt in de mondwijdte.

S 8 t/m S 23 vormen een groep van situaties, welke - met uitzondering van S 15 - den bovenbeschreven Noorderhavendam gemeen hebben en waarbij aan den Zuiderhavendam een verlenging is aangebracht. Bij S 15 is de Noorderhavendam, met behoud van de plaats van den kop, sterker gebogen. De verdere verschillen tusschen de situaties onderling bestaan hoofdzakelijk in de wijze en lengte van de verlenging van den Zuiderhavendam, de wijdte van den mond en den toestand van het Oude Zuiderhavenhoofd.

In de brieven nr. 4383 van 31 October 1941 en nr. 4537 van 12 November 1941 van den Hoofdingenieur in het arrondissement Leeuwarden wordt een viertal plannen (A, B, C en D) ter onderzoek opgegeven.

Plan A omvat de situaties S 18 tot en met S 21. Het heeft een licht gebogen Noorderhavendam, waarvan de kop 35 m meer binnenwaarts is geprojecteerd dan die van den bestaanden Zuiderhavendam. De laatste is 55 m verlengd, terwijl het Oude Zuiderhavenhoofd 35 m is verkort. De mondwijdte is, evenals bij de plannen B en C, 110 m.

Plan B vertoont een rechten Noorderhavendam en een aanzienlijke, gebogen, verlenging van den Zuiderhavendam. De vroegere Noorderhavendam - thans Middenhavendam - is wederom tot de helft van de lengte ingekort; het oude Zuiderhavenhoofd blijft bestaan.

Op dit plan B hebben betrekking de situaties S 24 tot en met S 32. De verlenging van den Zuiderhavendam is daarbij gevarieerd van 225 tot 285 m. Behalve in S 24, is de zeebodem buiten den havenmond over het gebied dat voor het invaren noodig is, verdiept tot N.A.P. - 5,4 m. S 26 wijkt van de overige situaties af door een lichte bocht in het laatste deel van den Noorderhavendam, waardoor de kop 25 m verder binnenwaarts ligt.

In plan C is de Zuiderhavendam verlengd met een stuk van 180 m lengte onder een hoek van  $45^{\circ}$  met den bestaanden dam. De verlenging begint niet aan den kop van den bestaanden dam, maar de as ervan ontmoet de as van dezen dam op een afstand van 40 m van dien kop. De bedoeling hiervan is, dat het trace van den verlengden Zuiderhavendam de groote diepte buiten den bestaanden kop vermijdt. De Noorderhavendam is licht gebogen. De situaties S 33, S 34 en S 35 hebben betrekking op dit plan.

In plan D wordt een deel van den bestaanden Noorderhavendam gehandhaafd als deel van den nieuwen dam. De mondwijdte wordt van 70 op 100 m gebracht door den Middenhavendam met 30 m te verkorten. De Zuiderhavendam blijft ongewijzigd. Het plan is bedoeld als een voorloopige oplossing, van waaruit eventueel later tot een verder gaande verbouwing kan worden overgegaan.

Op dit plan hebben betrekking de situaties S 36, S 37 en S 38. Hierbij is in het model de Noorderhavendam, afgezien van de verkorting voor het verwijden van den havenmond, niet volgens het eigenlijke plan gewijzigd, omdat dit op de omstandigheden nabij den mond geen invloed heeft.

De verschillen tusschen de situaties onderling zijn gelegen in den toestand van het Oude Zuiderhavenhoofd en van de kade tusschen de Nieuwe Willems haven en het Dok. Bij alle drie is de bodem buiten den havenmond verdiept tot N.A.P. - 5,4 m. In verband met de meer westelijke ligging van den havenmond, is het verdiepte gebied kleiner dan bij plan B.

## 12. De uitgevoerde metingen en hun voornaamste uitkomsten.

De uitgevoerde metingen zijn van drieërlei aard, nl. golfmetingen, stroommetingen en halingsmetingen. Tabel III geeft een overzicht van de golfmetingen welke in de verschillende situaties zijn gedaan en van hun voornaamste uitkomsten.

- Voor het bezwaar dat de deining in de haven oplevert, zijn drie punten maatgevend. (par. 3) nl.:
- de hoogste golven in den vaarweg voor de binnenscheepen tusschen de verschillende havenbekkens onderling, in het bijzonder van de nieuwe sluis naar de Nieuwe Willems haven;
  - de hoogste golven in de Nieuwe Willems haven en
  - de hoogste golven in de Willems haven (het Dok).

De in tabel III opgenomen uitkomsten geven deze drie waarden, bewerkt volgens de paragrafen 9 en 10.

Stroommetingen zijn verricht in de situaties S 0 - S 3 - S 5 - S 22 - S 24 - S 25 - S 32 en S 35, metingen van de haling in S 1 en S 32.

De uitkomsten hiervan worden behandeld in par. 25, resp. 26.